

Stabilitas Armor pada Breakwater Tenggelam

Ketut Kinog¹⁾
Hang Tuah²⁾
Andojo Wurjanto³⁾
Krisnaldi Idris³⁾

Abstrak

Untuk pengamanan pantai, tinggi gelombang dapat direduksi dengan membuat breakwater tenggelam. Untuk penggunaan armor sebagai bangunan pantai, Hudson (1959) telah mengembangkan koefisien stabilitas K_D untuk armor batu. Parameter gelombang yang melibatkan hanya tinggi gelombang H .

Penelitian ini juga mempelajari masalah koefisien stabilitas K_D , tapi parameter yang melibatkan adalah parameter gelombang (H dan T) dan parameter breakwater d/h , sedangkan armor yang digunakan ada 3 jenis armor, yaitu A-jack, tetrapod dan kubus. Studi difokuskan untuk menentukan hubungan antara kecuraman gelombang H/gT^2 dan koefisien stabilitas K_D , untuk harga parameter d/h tertentu.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa untuk harga d/h yang sama, maka harga $K_{D(A-jack)}$ lebih besar dari pada $K_{D(tetrapod)}$ dan $K_{D(kubus)}$ lebih besar dari pada $K_{D(kubus)}$.

Kata-kata kunci : artificial armor, submerged breakwater, koefisien stabilitas.

Abstract

For beach protection practice, submerged breakwater can reduce the wave height, the wave height can be reduced by constructing submerged breakwater. Hudson (1959) had developed the stability coefficient K_D for stone armor, which involve only the wave parameter H for beach protection structure.

This research is also studying the stability coefficient K_D , but more wave parameters (H, T), and breakwater parameter d/h , and 3 of artificial armor (A-jack, tetrapod and cube). The relation between the wave steepness H/gT^2 and the stability coefficient K_D for certain parameter d/h is established.

The result shows, that for the same value of d/h , $K_{D(A-jack)}$ is greater than $K_{D(tetrapod)}$ and $K_{D(tetrapod)}$ is greater than $K_{D(cube)}$.

Keywords : artificial armor, submerged breakwater, stability coefficient.

1. Pendahuluan

Dalam pembuatan bangunan pengaman pantai seperti breakwater atau bangunan di laut lainnya, diperlukan berbagai jenis armor, yaitu suatu benda cetak dari beton. Dalam penggunaannya, diperlukan sifat-sifat armor tersebut, seperti koefisien stabilitas K_D , porositas breakwater yang dibentuknya, dan lain-lain. Untuk itu para ahli telah mengembangkan berbagai jenis armor, seperti kubus, tetrapod, dolos, tribar, heksapod, A-jack dan lain-lain. Namun penelitian kearah sifat-sifat armor tersebut masih terbatas. Saat ini besaran koefisien stabilitas K_D yang dipakai

umumnya berdasarkan konsep Hudson (1959), dengan rumus:

$$K_D = \frac{\gamma_a H^3}{W_a \left(\frac{\gamma_a}{\gamma_w} - 1 \right) \cot \alpha} \quad (1.1)$$

yang ditetapkan hanya dengan parameter tinggi gelombang H . Beberapa penelitian belakangan seperti Ahren (1987), Van der Meer (1988) dan Losada (1992) memang telah melibatkan parameter gelombang T disamping H , tapi umumnya armor yang digunakan hanya batu pecah, tanpa meninjau bentuk armor dan tanpa meninjau posisi armor terhadap permukaan air.

-
1. Mahasiswa S-3 Departemen Teknik Sipil FTSP-ITB.
 2. Guru Besar Departemen Teknik Sipil FTSP-ITB.
 3. Staf Pengajar Departemen Teknik Sipil FTSP-ITB.

Catatan : Usulan makalah dikirimkan pada 24 Agustus 2004 dan dinilai oleh peer reviewer pada tanggal 26 Oktober 2004 - 14 Februari 2005. Revisi penulisan dilakukan antara tanggal 20 Februari 2005 hingga 21 April 2005.

Penelitian ini berusaha mendapatkan koefisien stabilitas K_D , untuk berbagai bentuk artificial armor, serta posisinya terhadap permukaan air.

Dalam penelitian ini, penetapan K_D ditinjau pada kondisi kritis, dimana akibat interaksi antara gelombang dengan breakwater, armor yang digunakan sebagai bahan konstruksi breakwater, mulai mengalami perpindahan akibat gelombang.

Dari percobaan kritis yang dilakukan dengan memperbesar tinggi gelombang H secara bertahap pada periode T yang sama, ternyata setelah H mencapai tinggi tertentu, armor mulai berpindah tempat sehingga bentuk penampang breakwaterpun berubah. Setelah perubahan bentuk mencapai kondisi tertentu, armor kemudian menata diri dan menjadi stabil kembali, dan perpindahan akan terjadi lagi bila H diperbesar lagi. Berdasarkan hal ini, kondisi kritis didefinisikan pada perpindahan armor sekitar 3-5 persen dari seluruh armor yang membentuk konstruksi tersebut.

Hasil stabilitas armor yang diharapkan adalah berupa hubungan antara parameter kecuraman gelombang H/gT^2 dengan koefisien stabilitas K_D .

Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat, khususnya perencanaan pengamanan pantai yang ramah lingkungan berupa breakwater tenggelam,

karena pada pantai yang merupakan obyek wisata, breakwater tidak tenggelam dianggap menghilangkan kesan alamiah pantai tersebut oleh wisatawan.

Metode penelitian yang digunakan adalah model fisik, yang dilakukan pada saluran gelombang. Model armor dan model breakwater disesuaikan dengan kemampuan saluran gelombang.

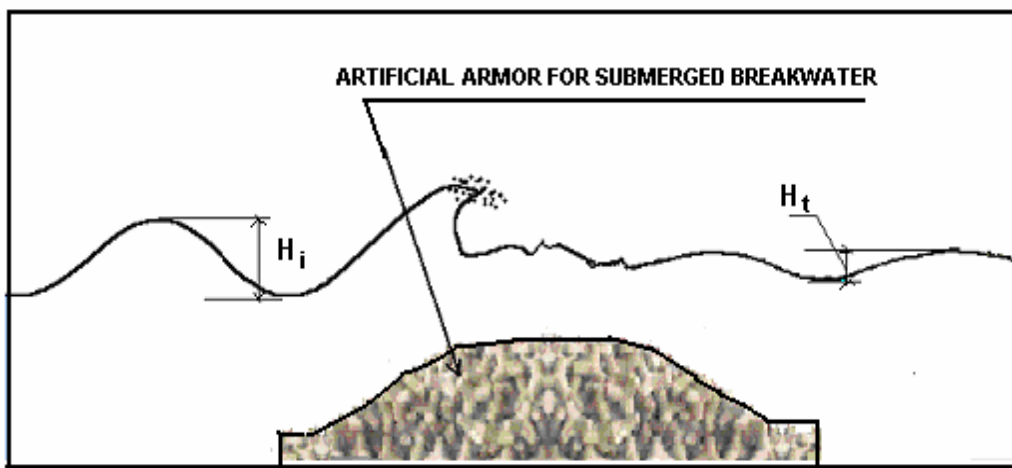
Untuk *model test* dilaboratorium, digunakan model *rubble-mound* (Hughes, 1993). Dari perhitungan skala model didapat skala model = 24, yang menghasilkan model armor A-jack, tetrapod dan kubus masing-masing dengan ukuran 6,25 cm, 8 cm dan 4 cm.

Dalam penentuan parameter penelitian digunakan parameter gelombang dan breakwater seperti **Gambar 2**.

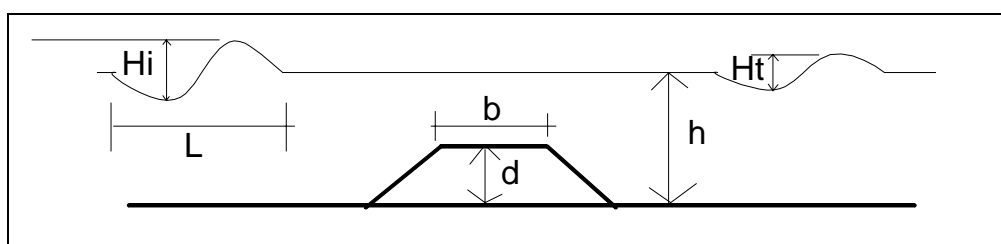
Analisis dimensional dengan Buckingham Pi Theorem (Hughes, 1993) menghasilkan persamaan parameter stabilitas armor:

$$\frac{\gamma_a H_i^3}{W_a} = f\left(\frac{H_i}{gT^2}, \frac{d}{h}, \cot \alpha\right) \quad (1.2)$$

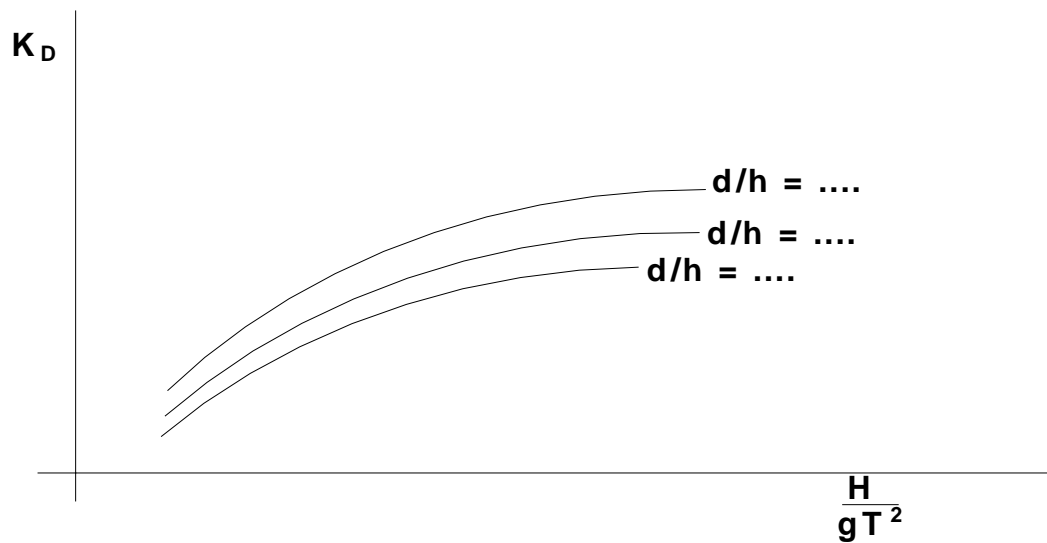
yang dapat dibuat grafik 2-D, dengan menetapkan harga tertentu untuk parameter d/h , yaitu seperti **Gambar 3**.



Gambar 1. Artificial armor pada submerged breakwater



Gambar 2. Parameter breakwater dan gelombang



Gambar 3. Perkiraan grafik stabilitas

Percobaan yang dilakukan ditujukan untuk mendapatkan grafik seperti **Gambar 3**, untuk tiap jenis armor. Rentang harga d/h , diambil 0,7 – 0,95.

2. Stabilitas Armor

Studi mengenai stabilitas armor yang berarti dimulai oleh Hudson (1959), dengan hasil berupa rumus koefisien stabilitas K_D dimana:

$$K_D = \frac{\gamma_a H^3}{W_a (\frac{\gamma_a}{\gamma_w} - 1)^3 \cot \alpha} \quad (2.1)$$

dimana:

- γ_a dan γ_w masing-masing berat jenis bahan armor dan air.
- W_a berat armor
- α sudut talud breakwater

Kemudian Markle et al. (1985), dan Ahrens (1987) melakukan studi stabilitas dengan armor quarystone. Tapi hasilnya kurang bersifat aplikatif.

Van der Meer (1988) meneliti masalah *rock slopes* dan *gravel beach* akibat serangan gelombang, dengan model fisik menggunakan batu pecah dengan. Hasilnya berupa rumus stabilitas untuk *plunging wave*

$$\frac{H_s \sqrt{\xi_m}}{\Delta D_{n50}} = 6.2 P^{0.18} \left(\frac{S}{\sqrt{N}} \right)^{0.2} \quad (2.2)$$

Dimana:

- H_s tinggi gelombang *significant*.
- ξ_m koefisien kecuraman gelombang.

- $\Delta = \frac{\rho_a - \rho}{\rho}$ dimana ρ_a dan ρ masing-masing masa jenis batu dan air.
- D diameter nominal batu pecah
- P koefisien permeabilitas struktur (*breakwater*)
- $S = \frac{A}{D_{n50}^2}$
- N jumlah gelombang ($N < 8500$)

Carver et al. (1987, 1989, 1991 dan 1994), meneliti stabilitas armor batu dan dolos pada ujung breakwater tanpa overtopping akibat gelombang tidak pecah/gelombang pecah, variasi keacakan dan pengaruh group gelombang. Hasilnya bersifat kualitatif.

Kemudian Losada et al. (1992) menguji stabilitas armor quarystone pada breakwater tenggelam, yang menghasilkan hubungan antara berat armor yang dibutuhkan W dengan suatu fungsi Φ_s dengan rumus:

$$W = \frac{w_r H^3 \Phi_s}{(S_r - 1)^3} \quad (2.3)$$

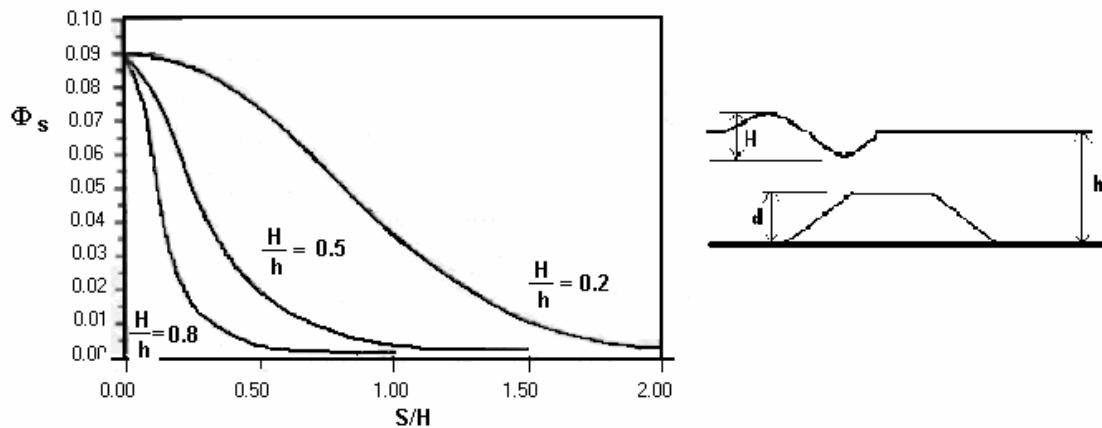
dimana:

- H adalah tinggi gelombang datang.
- S_r adalah *specific gravity* dari unit armor.
- w_r berat jenis (*unit weight*) unit armor.
- Φ_s adalah fungsi dari S/H dimana $S = (h-d)$

3. Pelaksanaan Penelitian

Penelitian ini didahului dengan persiapan-persiapan, antara lain:

- Pencetakan model armor, berupa A-jack, tetrapod dan kubus. Jumlahnya sedemikian rupa sehingga



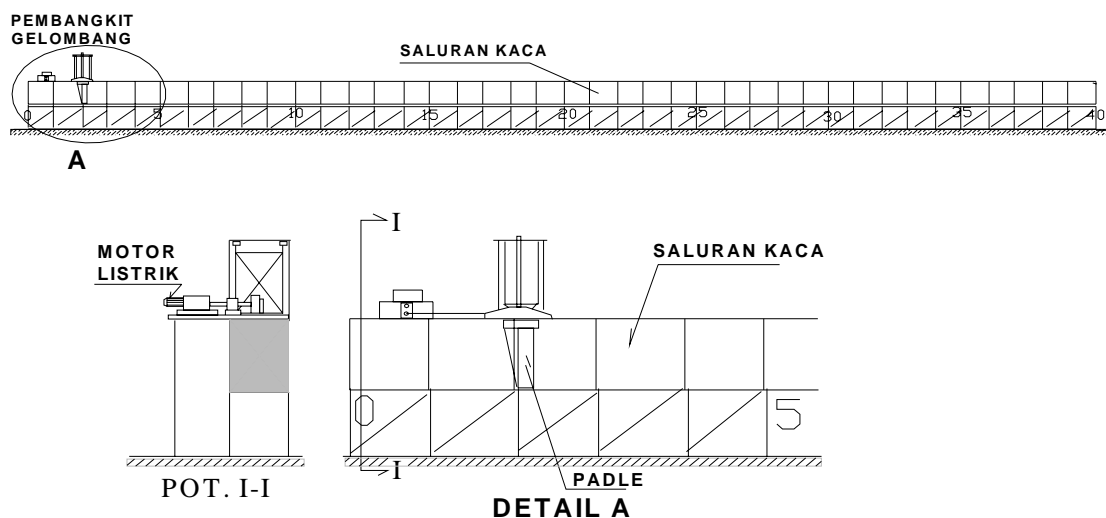
Gambar 4. Grafik ϕ_s sebagai adalah fungsi dari S/H (Losada et al., 1992)

dapat memenuhi volume model breakwater yang akan dibuat. Dalam hal ini telah dibuat 2500 buah armor A-jack, 2000 buah tetrapod dan 1500 buah kubus.

- Set up laboratorium, yang berupa saluran gelombang milik Pusat Penelitian dan Pengembangan Sumberdaya Air Balitbang Kimpraswil Departemen Pemukiman dan Prasarana Wilayah, di Bandung, yang berukuran panjang 40 m, lebar 0,6 m, tinggi 1,1 m, dilengkapi dengan pembangkit gelombang tipe piston. Penggerak piston adalah motor listrik. Bentang gerakan piston dapat diubah secara manual. Tinggi gelombang maksimum yang dapat dihasilkan adalah 0,3 m. Pengatur frekuensi berupa sistem tahanan listrik, yang juga dapat diatur secara manual. Frekuensi yang dapat dibangkitkan adalah 0,33 – 1,0 hertz, atau periode gelombang $T = 1 - 3$ detik. Di ujung saluran gelombang dibuat pantai dengan kemiringan 1 : 10.

- Persiapan alat ukur gelombang, yang dalam hal ini digunakan alat *ultrasonic distance sensor* merk *Senix*, dengan *model Ultra-SP*. Tujuan pengukuran adalah mendapatkan data hubungan antara waktu t dengan posisi permukaan gelombang y . Prinsip kerja alat ukur *Senix* ini adalah mengirim gelombang ultrasonic ke permukaan air (gelombang) yang kemudian dipantulkan. Pantulan tersebut ditangkap lagi oleh sensor *Senix*. Selisih waktu pengiriman gelombang dan penangkapan pantulan menyatakan jarak antara sensor *Senix* dengan permukaan gelombang dan direkam sebagai data dalam bentuk arus listrik (satuan *mA*), yang selanjutnya dengan mengkalibrasi alat tersebut dengan dengan jarak yang telah diketahui, maka data yang didapat dapat diubah menjadi data jarak. Perekaman data dilakukan dengan komputer, yang dijalankan dengan software *Winspan*.

Percobaan yang dilakukan pada dasarnya untuk perhitungan tinggi gelombang datang H_i dan periode



Gambar 5. Saluran gelombang

T , untuk harga d dan h yang ditentukan, yang akan dihitung dari data gelombang (data hubungan antara waktu t dengan posisi permukaan gelombang y). Gelombang datang diukur dengan 2 buah Senix yang ditempatkan di depan breakwater, karena gelombang tersebut merupakan kombinasi dari gelombang datang dan gelombang pantul (oleh breakwater), dan untuk memisahkannya diperlukan data pengukuran pada 2 posisi (Goda & Suzuki 1976). Pada penelitian ini, dilakukan 80 percobaan, yang menghasilkan $80 \times 2 = 168$ file data.

Karena rekaman data berupa besaran arus (dalam mA), maka diperlukan kalibrasi, yang dilakukan sekali setiap hari percobaan, untuk mendapatkan jarak antara Senix dan permukaan gelombang.

4. Analisis Hasil Percobaan

Percobaan yang dilakukan menghasilkan data berupa rekaman data permukaan gelombang. Rinciannya dapat dilihat pada **Tabel 1**.

Analisis data yang dilakukan berupa perbaikan data dan perhitungan H dan T . Perbaikan data perlu dilakukan karena data yang terekam kadang-kadang mengandung *lost* (ada data yang tidak terekam) atau *error* (data yang terekam tidak benar). Konsep perbaikan data adalah menghilangkan rekaman data yang salah dan menggantinya dengan interpolasi data yang benar disebelahnya. Gelombang yang landai umumnya dapat direkam dengan sempurna. Tapi gelombang curam dan pecah, sebagian rekaman mengalami *lost* atau *error*, yang umumnya terjadi pada bagian permukaan yang miring dan gelombang pecah. Hal ini disebabkan pada kondisi tersebut pantulan gelombang ultrasonik tidak sempurna,

sehingga tidak tertangkap dengan baik oleh sensor Senix.

H dan T dihitung dengan metode *zero-upcrossing* (Goda, 1985). Untuk mengerjakan proses perbaikan data dan penggunaan metode *zero-upcrossing* dibuatkan sebuah program komputer yang disebut *prodata*. Untuk input data digunakan rekaman data minimal 10 gelombang berturut-turut (SPM 1984). Output program *prodata* adalah data hasil perbaikan, harga H dan T , dan spektrum gelombang yang bersangkutan. Berikut ini contoh gelombang yang masih mengandung error, yang sudah diperbaiki dan spektrumnya:

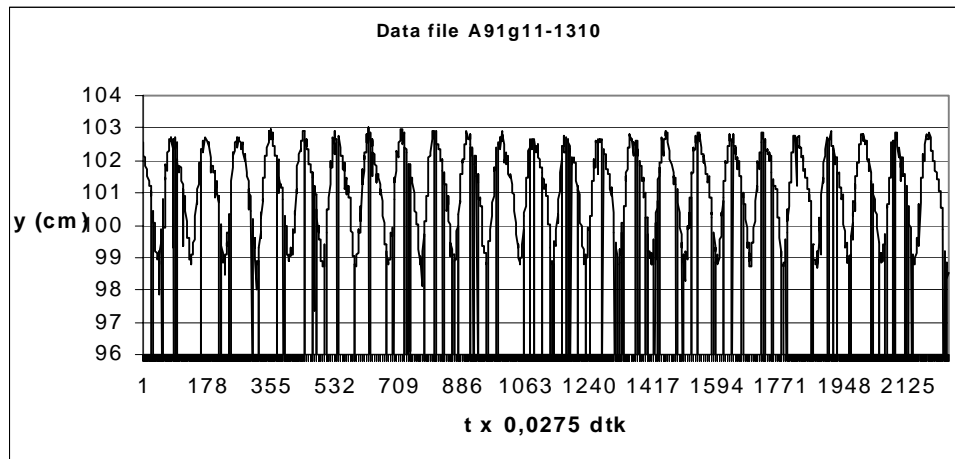
5. Diskusi

Data yang sudah diperbaiki dan dihitung harga H dan T nya, digunakan untuk perhitungan parameter K_D dan H/gT^2 , (**Tabel 2**), sehingga dapat dibuat curva stabilitas armor (**Gambar 8**). **Tabel 2** dan curva gambar 8 adalah hasil perhitungan 1 kelompok data. Karena ada 10 kelompok data untuk A-jack, 3 kelompok data untuk tetrapod dan 3 kelompok data untuk kubus, maka dihasilkan 10 curva armor A-jack, 3 curva armor tetrapod dan 3 curva untuk armor kubus untuk harga d/h yang berbeda. Untuk penyajian yang lebih komprehensif, kelompok-kelompok tersebut di gabungkan (**Gambar 9** sampai **11**).

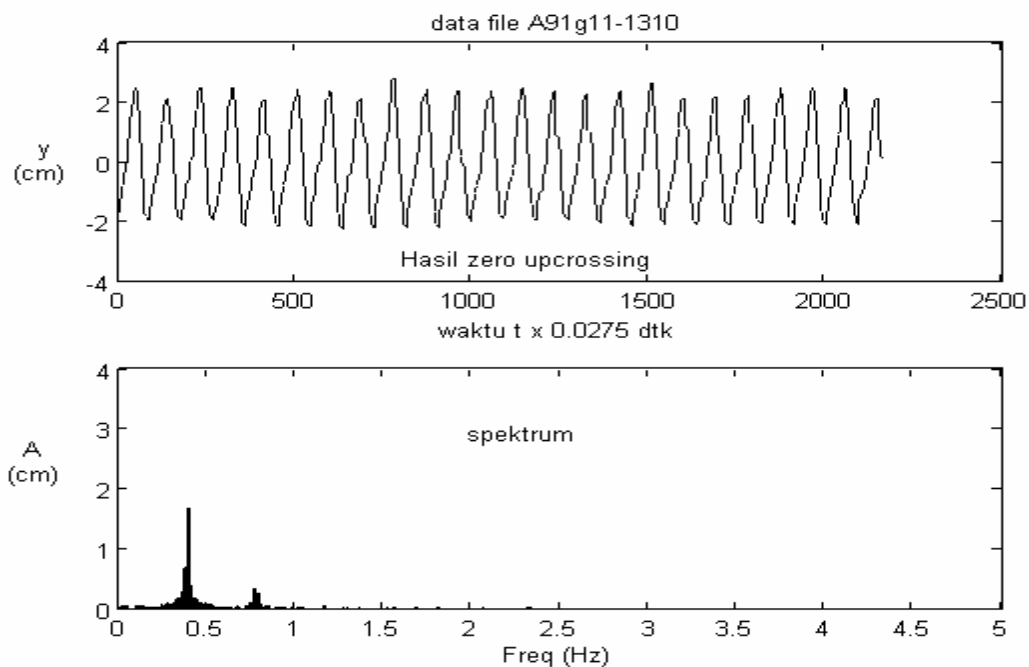
Untuk melihat perbandingan harga K_D antar jenis armor, dibuatkan curva gabungan untuk armor A-jack, tetrapod dan kubus untuk harga d/h yang sama (**Gambar 12**). Dari **Gambar 12** terlihat, bahwa K_D untuk armor A-jack $> K_D$ untuk armor tetrapod $> K_D$ untuk armor kubus, yang berarti armor A-jack adalah yang paling stabil.

Tabel 1. Daftar file hasil percobaan stabilitas armor

Jenis armor	Harga d/h	H (m)	Talud	Jumlah Percobaan	Jumlah File
A-jack	0,67	0,46	1	5	10
	0,72	0,60	2	3	6
	0,76	0,50	1	8	16
	0,83	0,48	2	4	8
	0,86	0,50	1	4	8
	0,95	0,31	1	6	12
	0,95	0,41	1,5	6	12
	0,95	0,39	2	6	12
	0,98	0,51	1	4	8
	0,98	0,45	2	4	8
Tetrapod	0,77	0,53	1	6	12
	0,83	0,58	1,5	4	8
	0,95	0,53	2	5	10
Kubus	0,77	0,37	1	7	14
	0,83	0,49	1,5	3	6
	0,95	0,45	2	5	10
Jumlah				80	160



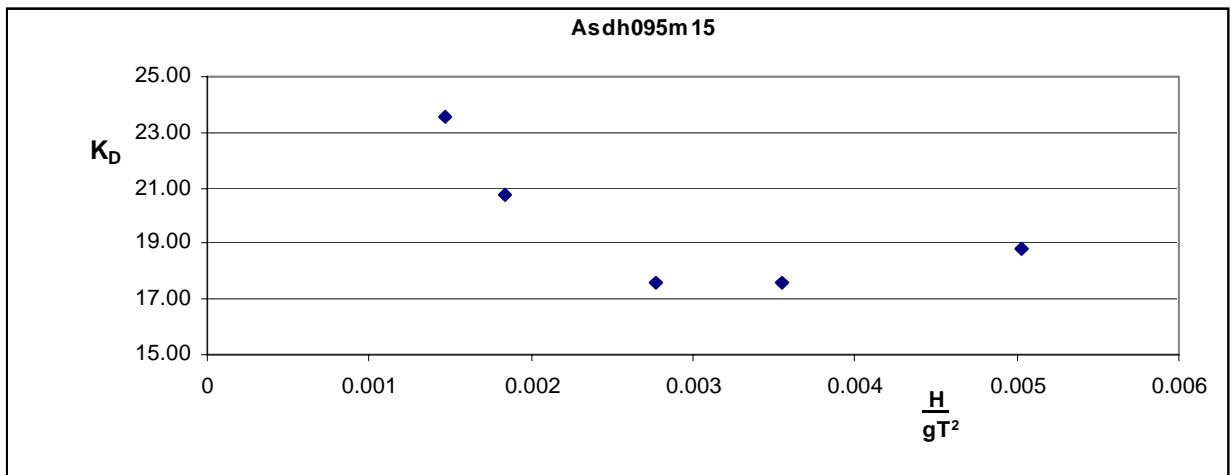
Gambar 6. Contoh grafik data gelombang asli (belum diperbaiki)



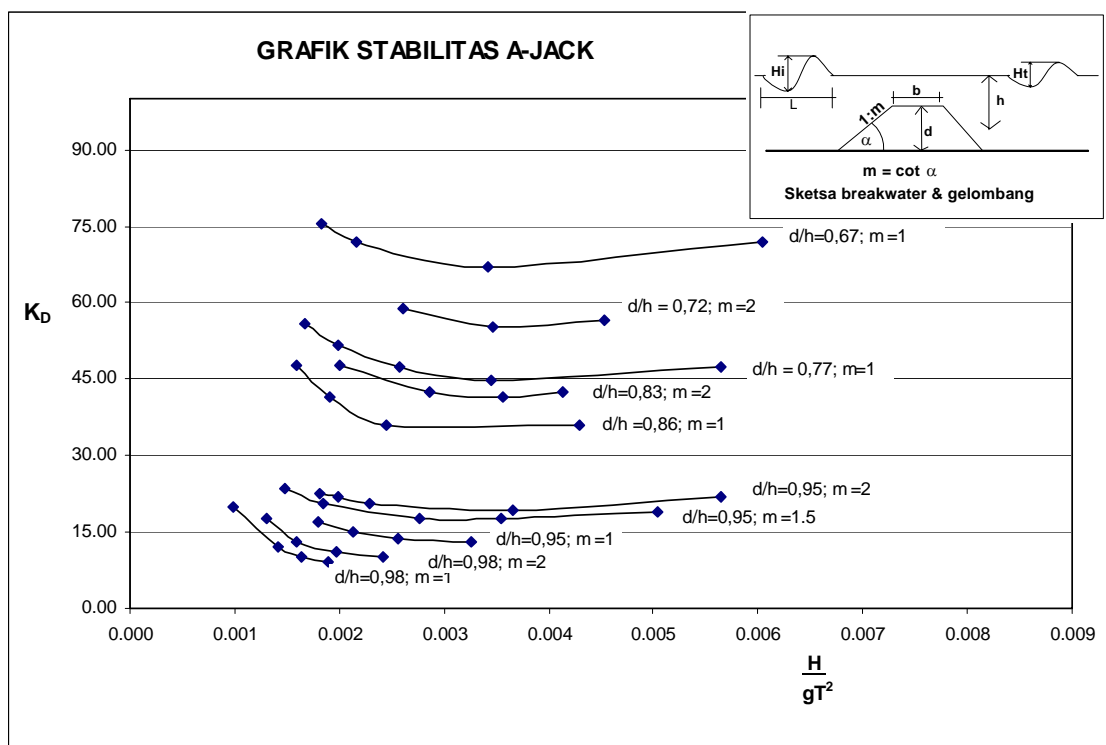
Gambar 7. Contoh gelombang yang telah diperbaiki dan spektrumnya

Tabel 2. Contoh tabel perhitungan stabilitas untuk $d/h = 0,95$

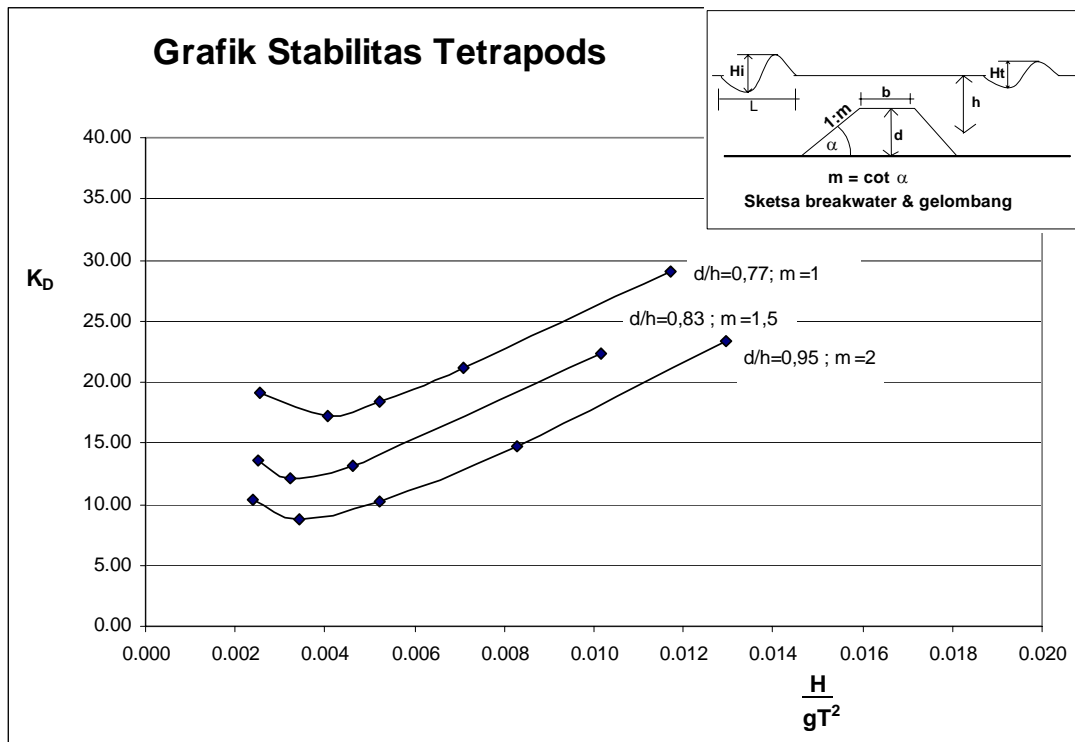
Kelompok	data	T	H	γ_a	W_a	H/gT^2	$K_D = \gamma_a H_i^3 / W_a$
Asdh095m15	d385-1-2310	1.35	9	2256	29430	0.005034	18.80
	d385-2-2310	1.59	8.8	2256	29430	0.003548	17.58
	d385-3-2310	1.80	8.8	2256	29430	0.002769	17.58
	d385-5-2310	2.27	9.3	2256	29430	0.00184	20.75
	d385-6-2310	2.59	9.70	2256	29430	0.001474	23.54



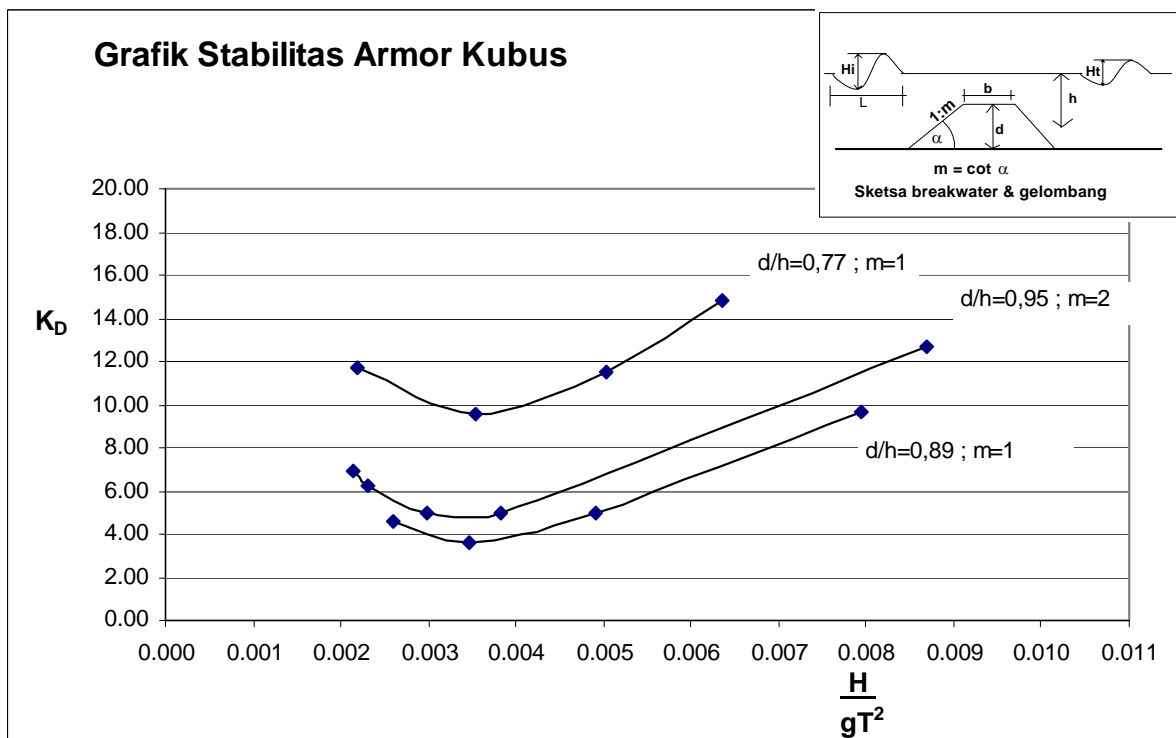
Gambar 8. Contoh grafik stabilitas untuk $d/h = 0,95$



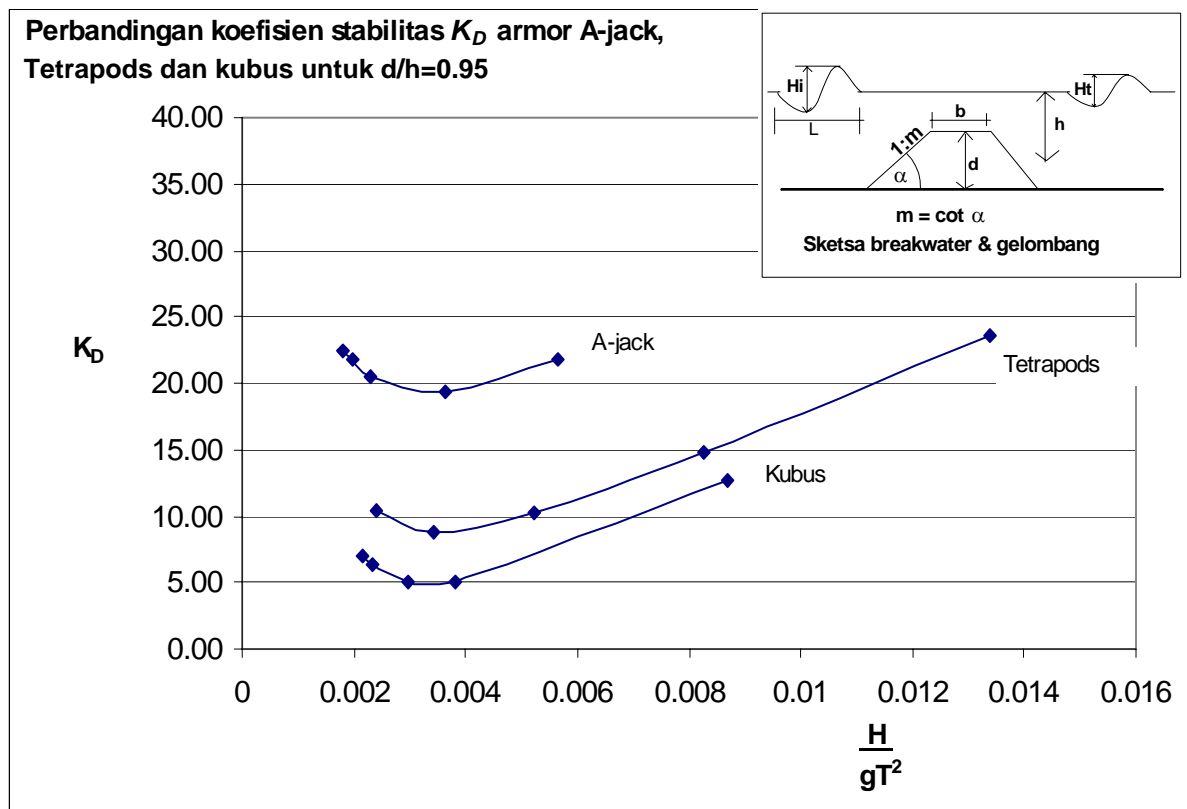
Gambar 9. Grafik stabilitas gelombang gabungan untuk A-jack



Gambar 10. Grafik stabilitas armor gabungan untuk armor tetrapod



Gambar 11. Grafik stabilitas armor gabungan untuk armor kubus



Gambar 12. Perbandingan harga K_D armor A-jack, tetrapod dan kubus untuk $d/h=0.95$

6. Kesimpulan

- Harga *stability coefficient* K_D berubah bersama dengan perubahan *dimensionless wave steepness*. Grafik yang dihasilkan pada penelitian ini, sejalan dengan hasil penelitian Van der Meer (1988), tapi karena jenis armor yang digunakan berbeda, maka harga K_D yang dihasilkan berbeda-beda besarnya.
- Harga K_D dipengaruhi oleh harga *relative breakwater height*, dimana makin besar, maka makin kecil harga *stability coefficient* K_D . Penelitian Van der Meer (1988) atau penelitian lain sebelumnya belum meninjau pengaruh parameter ini.

Daftar Pustaka

- Ahrens, J.P., 1987, "Characteristic of Reef Breakwater", CERC-87-17, US Army Coastal Engineering Research Center, Vicksburg, Mississippi.
- Burcharth, H.F., Dangremond, K., Van der Meer, J.W., Liu, Z., 2000, "Empirical Formula for Breakage of Dolosse and Tetrapods", Coastal Engineering- Elsevier-40, 183-206.
- Carver, R.D., Wright B.J., 1994, "Investigation of Wave Grouping Effects on the Stability of Stone-Armored, Rubble-Mound Breakwaters", CERC-94-13, US Army Coastal Engineering Research Center, Vicksburg, Mississippi.
- Carver, R.D., Heimbaugh, M.S., 1989, "Stability of Stone and Dolos-Armored, Rubble-Mound Breakwaters Heads Subjected to Breaking and Nonbreaking Waves With no Overtopping", CERC-89-4, US Army Coastal Engineering Research Center, Vicksburg, Mississippi.
- Carver, R.D., Wright B.J., 1991, "Investigation of Random Variations in Stability Response of Stone-Armored, Rubble-Mound Breakwaters", CERC-91-17, US Army Coastal Engineering Research Center, Vicksburg, Mississippi.
- Carver, R.D., Herrington, C.R., Wright B.J., 1987, "Stability of Stone and Dolos-Armored, Rubble-Mound Breakwater Head Subjected to Nonbreaking Waves With no Overtopping", CERC-94-13, US Army Coastal Engineering Research Center, Vicksburg, Mississippi.
- Cheong, H.F., Shankar, N.J., Nallayarasu, S., 1996, "Analysis of Platform Breakwater by Eigen Function Expansion Method", Ocean Engineering-Pergamon-23(8), 649-666.

- Coen, L.D., Luckenbach, M.W., 2000, "Developing Success Criteria and Goals for Evaluating Oyster Reef Restoration: Ecological Function or Resource", Ecological Engineering-Elsevier-15, 323-343.
- Dean, R.G., Chen, R., Browder, A.E., 1997, "Full Scale Monitoring Study of a Submerged Breakwater, Palm Beach, Florida, USA", Coastal Engineering-28, Elsevier, 229-248.
- Goda, Y., Morinobu, K., 1998, "Breaking Wave Height on Horizontal Bed Affected by Approach Slope", Coastal Engineering Journal-40 (4) 307-326.
- Goda, Y., 1985, "Random Seas and Design of Maritime Structures", University of Tokyo Press.
- Hsu, H.H., Wu, Y.C., 1999, "Scattering of Water Wave by a Submerged Horizontal Plate and a Submerged Permeable Breakwater", Ocean Engineering- Pergamon-26, 325-341.
- Huang, L.H., Chao, H.I., 1992, "Reflection and Transmission of Water Wave by Porous Breakwater", Journal of Waterway, Port, Coastal and Ocean Engineering, Vol. 118 No. 5 1992, 437-452.
- Hughes, S.A., 1993, "Physical Models and Laboratory Techniques in Coastal Engineering", Advanced Series on Ocean Engineering vol. 7, World Scientific Publishing Co., Singapore.
- Japan International Cooperation Agency, 1989, "The Feasibility on the Urgent Bali Beach Conservation Project", Directorate General of Water Resources Development, Ministry on Public Work, Government of the Republic of Indonesia.
- Kawasaki, K., 1999, "Numerical Simulation of Breaking and Post Breaking Wave Deformation Process Around a Submerged Breakwater", Coastal Engineering Journal-41 (3& 4) 201-223.
- Kinog, K., 2000, "Rehabilitasi Pantai Dengan Beach Nourishment", Tesis Magister pada Program Studi Teknik Sipil, Program Pasca Sarjana ITB, Bandung.
- Kobayashi, N., Wurjanto, A., 1989, "Wave Transmission Over Submerged Breakwaters", Journal of Waterway, Port, Coastal and Ocean Engineering, ASCE- 115 (5) 662-670.
- Lindfield, G., Penny, J., 1999, "Numerical Method Using MATLAB", Ellis Horwood, Singapore.
- Losada, I.J., Silva, R., Losada, M.A., 1996, "3-D Non-Breaking Regular Wave Interaction With Submerged Breakwater", Coastal Engineering-28, Elsevier, 229-248.
- Losada, I.J., Silva, R., Losada, M.A., 1996, "Interaction of Non-breaking Random Wave with Submerged Breakwaters", Coastal Engineering-28, Elsevier, 249-266.
- Losada, M., Kobayashi, N., Martin, L., 1992, "Armor Stability on Submerged Breakwaters.", Journal of Waterway, Port, Coastal and Ocean Engineering, ASCE, 118 (2), 207-212.
- Mai, S., Ohle, N., Daemrich, K.F., 2000, "Numerical Simulation of Wave Propagation Compared to Physical Modeling", Franzius-Institut for Hydraulic, Waterways and Coastal Engineering, University of Hannover, Germany.
- Massel, S.R., Gourlay, M.R., 2000, "On The Modelling of Wave Breaking and Set-up on Coral Reefs", Coastal Engineering-Elsevier-39, 1-27.
- Mizutani, N., Mostafa, A.M., Iwata, K., 1998, "Nonlinear Regular Wave, Submerged Breakwater and Seabed Dynamic Interaction", Coastal Engineering-33, Elsevier, 177-202.
- Mizutani, N., Mostafa A.M., 1998, "Nonlinear Wave Induced Seabed Instability Around Coastal Structures", Coastal Engineering Journal-40 (2) 131-160.
- Nippon Koei Co. Ltd., 1992, "Urgent Bali Beach Conservation Project Design Report", Directorate General of Water Resources Development, Ministry on Public Work, Government of the Republic of Indonesia.
- Seelig, W.N., 1980, "Two Dimensional Test of Wave Transmission and Reflection Characteristics of Laboratory Breakwaters", US Army Corp of Engineers, Coastal Engineering Research Center, Kingman Building Fort Belvoir.
- Silvester, R., Hsu, J.R.C., 1997, "Coastal Stabilization", Advanced Series on Ocean Engineering Vol. 14, World Scientific Publishing Co., Singapore.
- Sumer, B.M., Fredsoe, J., 2000, "Experimental Study of 2-D Scour and its Protection at a Rubble-Mound Breakwater", Coastal Engineering-40, Elsevier, 59-87.

Van der Meer, J.W., 1988, "*Rock Slope and Gravel Beaches under Wave Attack*", Grafische verzorging Waterloopkundig Laboratorium/WL.

Van der Meer, J.W., Daemen, I.F.R., 1994, "*Stability and Wave Transmission at Low-Crested Rubble-Mound Structures*", Journal of Waterway, Port, Coastal and Ocean Engineering, ASCE, 120(1) 1-19.

